

## 1.5. МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОБОДНЫХ ФОРМ

**Цель лекции:** изучение методов моделирования свободных форм.

Помимо традиционных методов проектирования – прежде всего твердотельного и поверхностного моделирования, свое применение для проектирования ряда типовых деталей электронной аппаратуры находят и специальные методы моделирования. Так, одной из составляющих цепочки сквозного проектирования электронной аппаратуры является проектирование корпусных деталей, изготавливаемых из различных конструкционных материалов. Выбор материала обуславливает технологию изготовления корпуса – для пластиковых деталей это, в частности, метод литья под давлением и технологии 3D-печати. Таким образом, на этапе проектирования корпуса требуется обеспечить технологичность конструкции в соответствии с выбранным методом изготовления. Комплексная цифровизация проектирования и производства в рамках концепции «Индустрия 4.0» предусматривает сквозную автоматизацию всего цикла проектирования и подготовки производства изделия, поэтому проектирование и изготовление корпусных деталей также должно подчиняться требованиям данной концепции. Следовательно, начиная с ранних этапов проектирования необходимо обеспечить автоматизацию проектирования таких деталей, увязывая конструкцию корпуса с его наполнением – электронными модулями, элементами индикации, управления, питания, разъемами и пр. и учитывая при этом требования к технологичности конструкции.

Одна из проблем автоматизации проектирования деталей указанного типа заключается в том, что на ранних этапах проектирования в качестве исходных данных, помимо технического задания, может присутствовать лишь весьма обобщенное описание корпуса, выраженное в дизайнерских набросках и эскизах (рис. 1.34). Могут отсутствовать точные пропорции и размеры корпуса, разбиение на отдельные детали, также может быть не сделан окончательный выбор комплектующих деталей, характерных для типового корпуса электронного прибора – разъемов, дисплея, кнопок, переключателей и пр. Исходя из этих соображений, разработка окончательной 3D-модели корпуса может быть сопряжена с трудностями.



**Рис. 1.34.** Исходные данные – дизайнерские эскизы изделий электронной аппаратуры: портативная радиостанция (а); пульт управления промышленным оборудованием (б)

На предварительных стадиях проектирования решаются такие задачи, как проработка компоновки, разбиение корпуса на отдельные детали с учетом механизмов их соединения, анализ собираемости изделия, отработка конструкторско-технологических решений, например, внедрение элементов жесткости, анализ и выбор элементов дизайна, включая форму и цвет, проработка эргономики изделия. Чтобы решить данные задачи, необходима полноценная 3D-модель прототипа корпуса будущего изделия.

Рассмотрим подход, облегчающий реализацию автоматизированного 3D-проектирования корпусных деталей на ранних стадиях в условиях незавершенного конструкторского замысла, с возможностью внесения изменений в конструкцию на более поздних этапах разработки.

Традиционные подходы к проектированию корпусных деталей из пластика предусматривают применение традиционных параметрических методов проектирования с использованием поверхностного моделирования. Результатом такого проектирования служат модели в граничном представлении (англ. BREP, boundary representation), реализующие точные аналитические формы граней и их сопряжений. Основными достоинствами такого подхода являются строгая параметризация, однозначная и согласованная реакция на вносимые изменения, пригодность к непосредственной передаче модели в технологические модули – например, проектирования пресс-форм для литья под давлением.

Вместе с тем, данному подходу присущ ряд неотъемлемых недостатков, среди которых сложность и продолжительность проектирования независимо от стадии проработки, необходимость наличия законченного конструкторского замысла до начала проектирования, а также высокие требования к навыкам владения САПР конструктором.

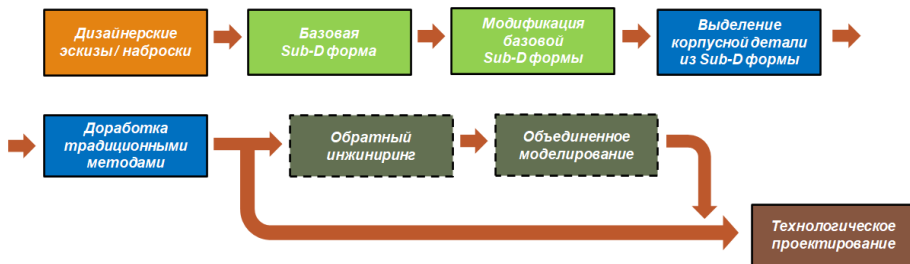
Проектирование корпусных деталей электронной аппаратуры на ранних стадиях необходимо осуществлять в условиях незавершенного конструкторского замысла, при этом метод проектирования должен обладать гибкостью, достаточной для внесения незапланированных изменений в конструкцию, а

также устойчивостью к сохранению целостности конструкции при внесении таких изменений, простотой и высокой скоростью работы. Учитывая приведенные выше соображения, в данной работе для решения указанной задачи проектирования корпусных деталей предлагается гибридный подход, сочетающий гибкое проектирование основной формы детали и строгое моделирование точных элементов конструкции.

В качестве метода гибкого проектирования предлагается использовать моделирование свободных форм (Subdivision / Sub-D Modeling), в рамках которого создаваемое трехмерное тело модели окружается настраиваемой многоугольной клеткой, и управление формой тела производится за счет изменения положения вершин и ребер клетки. Клетка может произвольным образом разбиваться на сегменты в целях более точного управления геометрией. Тело при этом создается с помощью набора правил, которые многократно применяются к каждой грани/ребру/вершине многоугольника, создавая тем самым вершины многоугольников следующего уровня и обеспечивая их связность. Наиболее распространенной реализацией данной технологии является платформа Pixar Surface Subdivision с открытым исходным кодом. В данной работе моделирование выполнялось в конструкторской САПР Solid Edge от компании Siemens DI, также данная концепция реализована в САПР NX.

Результатом моделирования свободных форм является вспомогательное фасетное тело, которое возможно преобразовать в рабочее. Результирующая модель впоследствии может быть доработана с применением любого метода проектирования:

- традиционного параметрического/синхронного;
- обратного инжиниринга в целях выделения аналитических поверхностей;
- объединенного (конвергентного) моделирования.

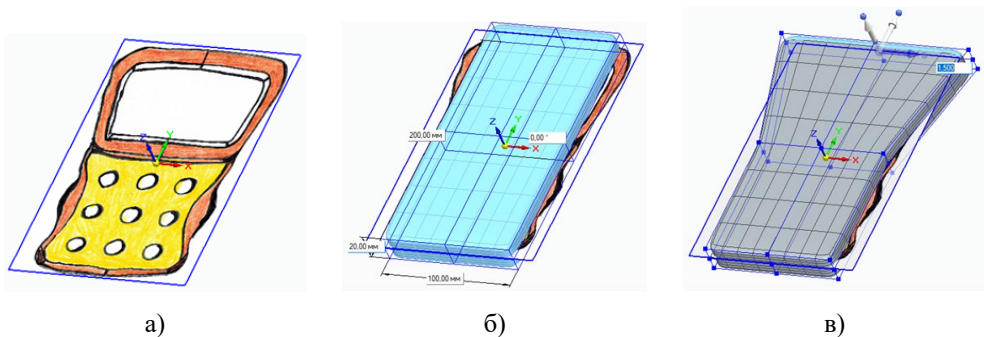


**Рис. 1.35.** Обобщенная последовательность проектирования корпусной детали с участием моделирования свободных форм

На рис. 1.35 представлена обобщенная последовательность проектирования корпусной детали, заключающаяся в применении моделирования свободных форм на начальном этапе проектирования и дальнейшей модификации модели с участием прочих методов моделирования, среди которых методы

обратного инжиниринга и объединенного моделирования являются опциональными этапами (выделены пунктирной линией).

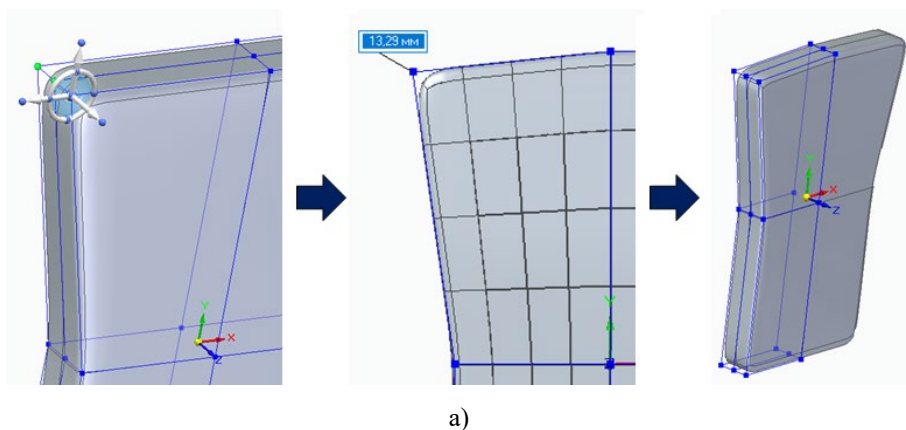
Рассмотрим основные этапы приведенного выше обобщенного процесса проектирования на примере детали – крышки корпуса пульта управления. Исходными данными для построения является эскизный набросок фронтального вида корпуса (рис. 1.36, а). Процесс построения модели начинается с создания базовой формы, в данном случае – параллелепипеда, при этом размеры соотносятся с размерами эскиза, спроецированного на плоскость построения (рис. 1.36, б). Затем модель масштабируется по одной оси с коэффициентом 1,5 в целях создания расширения верхней части корпуса (рис. 1.36, в). Количество исходных сегментов по каждой оси выбрано равным двум, но это количество может при необходимости настраиваться.



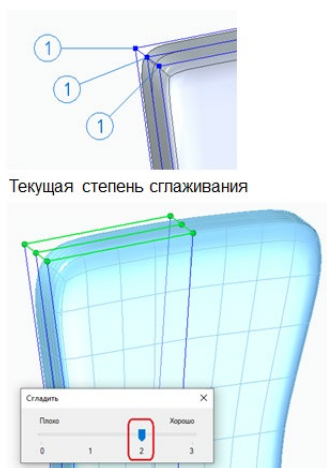
**Рис. 1.36.** Создание и первичная модификация базовой формы: исходный дизайнерский набросок (а); создание базового параллелепипеда (б); масштабирование базовой формы по одной оси (в)

Основной смысл применения моделирования свободных форм заключается в модификации базовой формы с помощью управления вершинами / ребрами окружающей ее клетки. Так, можно изменять наклон граней, а также изменять относительное значение уровня сглаживания для ребер и вершин (рис. 1.37).

Далее рассмотрим создание эргономичных выступов на боковых сторонах корпуса под хват пальцами. Метод моделирования свободных форм позволяет сначала разбить два сегмента боковой грани клетки на 7 сегментов меньшего размера (рис. 1.38, а) с последующим подъемом (смещением) сегментов в ортогональном направлении с опцией наклона соседних граней (рис. 1.38, б). Полученный результат также подвергается дополнительному сглаживанию вершин и ребер (рис. 1.38, в). Следует отметить, что задействование режима симметрии позволяет выполнять данные манипуляции только на одной из симметричных граней с автоматическим выполнением аналогичных преобразований на второй из них.



а)



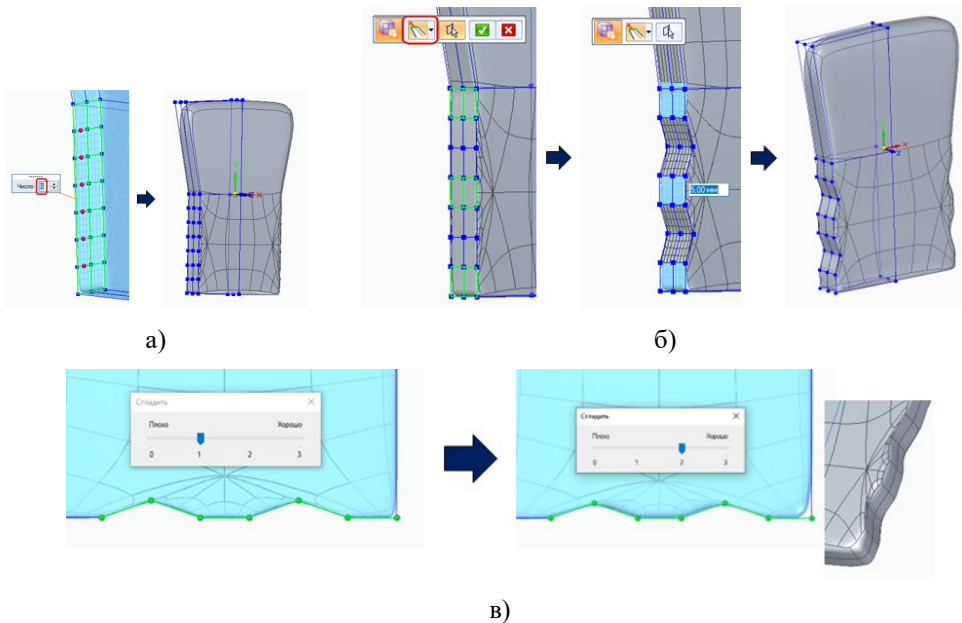
Текущая степень сглаживания

б)

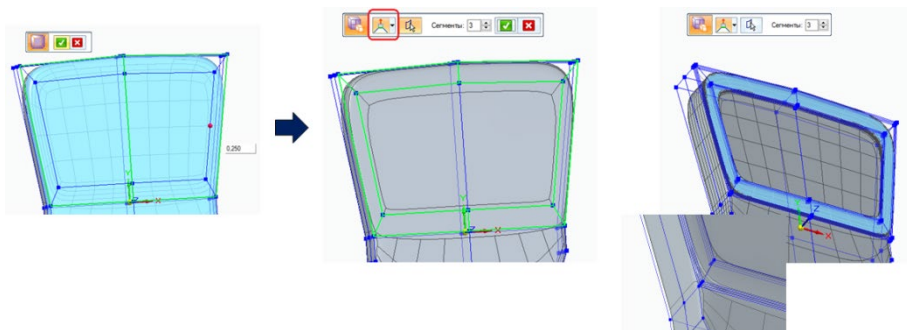
**Рис. 1.37.** Дальнейшая модификация базовой формы с помощью управления вершинами / ребрами окружающей клетки (а) и изменения относительного уровня сглаживания с 1 на 2 (б)

С помощью моделирования свободных форм возможно создавать достаточно сложные элементы – например, буртик вокруг дисплея (рис. 1.39). Данный элемент выполняется разбиением сегментов с одновременным их смещением, управляемым коэффициентом, и дальнейшим подъемом образованных сегментов будущего буртика с опцией поднятия граней.

Внесение изменений в дизайнерский и конструкторский замыслы возможно выполнять непосредственно в процессе проектирования, внося в модель незапланированные изменения. Так, на рис. 1.40 показано изменение формы нижней грани корпуса подстройкой ее под нарисованную эскизную кривую (рис. 1.40, а), а также выполнения проушины с помощью команды «Мостик» по эскизной направляющей с последующим сглаживанием (рис. 1.40, б). Кривая при этом может иметь произвольную форму или быть параметризованной.



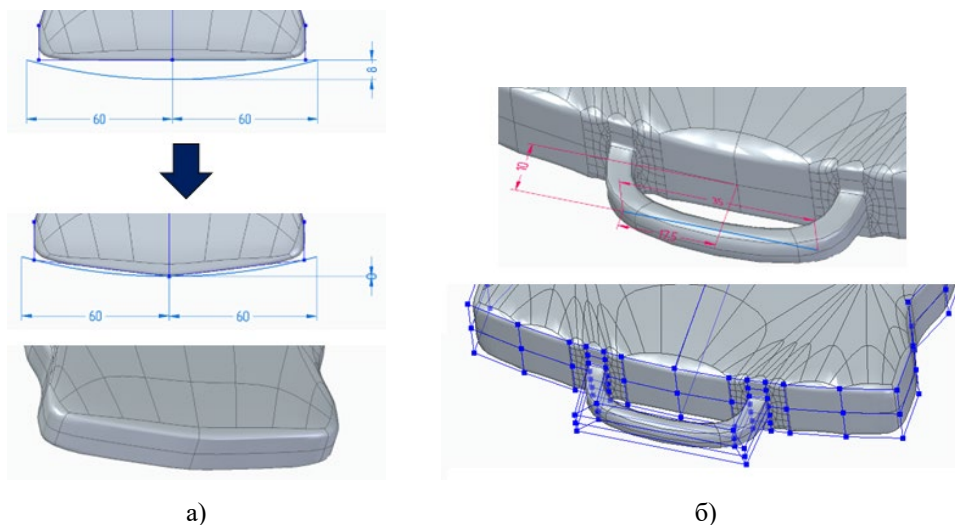
**Рис. 1.38.** Создание выступов на боковых гранях с помощью разбиения сегментов (а) с последующим их подъемом (б) и изменением относительного уровня сглаживания с 1 на 2 (в)



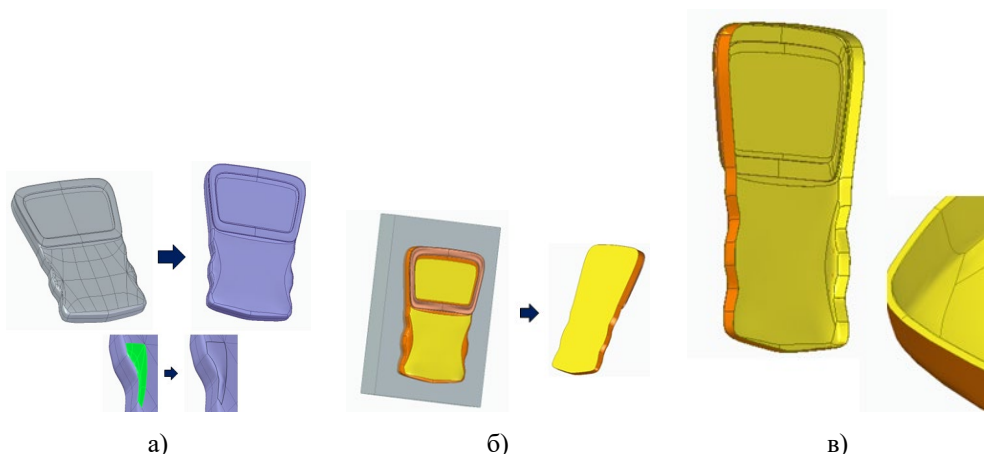
**Рис. 1.39.** Создание буртика вокруг дисплея с помощью разбиения сегментов со смещением и подъемом

По окончании моделирования методом свободных форм необходимо выделить из полученного фасетного тела оболочку, соответствующую в нашем примере половине (крышке) корпуса (рис. 1.41). Это выполняется с помощью простой булевой операции вычитания из результирующего тела инструмента-параллелепипеда с заведомо большими габаритами, построенного таким образом, чтобы грань параллелепипеда совпадала с плоскостью раздела корпуса на крышку и основание (рис. 1.41, б). Перед данной операцией тело опционально подвергается обработке в модуле поверхностного моделирования с целью пе-

реопределения поверхностей, чтобы удалить образованные кусочные поверхности (рис. 1.41, а). Также можно выполнить цветное выделение граней. Завершает этап выделения корпусной детали формирование тонкостенного тела заданной толщины (рис. 1.41, в).



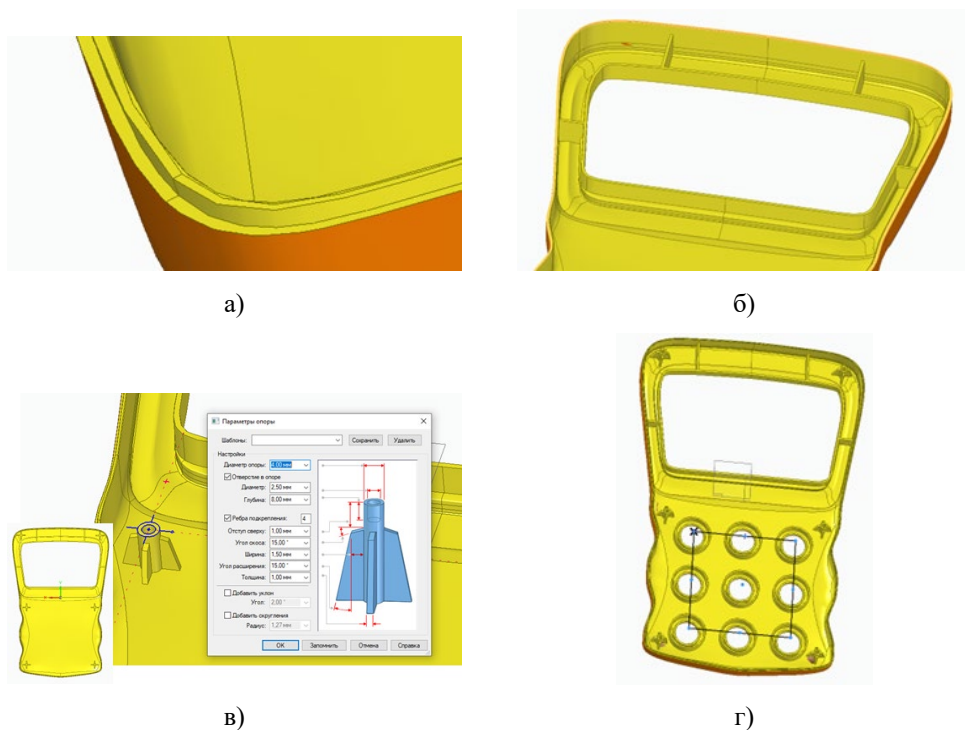
**Рис. 1.40.** Внесение незапланированных изменений в конструкторский замысел с помощью подстройки формы грани под эскизную кривую (а) и выполнения проушины по эскизной кривой (б)



**Рис. 1.41.** Выделение корпусной детали из тела свободной формы: устранение кусочных поверхностей (а); булева операция вычитания (б); формирование тонкостенного тела (в)

Дальнейшая модификация полученной 3D-модели, как упоминалось выше, может производиться различными методами. Приведем некоторые примеры

применения традиционного инструментария твердотельного параметрического моделирования (рис. 1.42). Так, с помощью команды «Кромка» формируется паз под соединение с ответным выступом основания корпуса (рис. 1.42, а), с помощью команд «Вырез», «Выступ» и «Сетка ребер» создаются элементы оформления дисплея, служащие для его крепления и обеспечения жесткости (рис. 1.42, б), формируется массив опор с подкреплением (рис. 1.42, в), а также массив элементов оформления кнопок (рис. 1.42, г). Следует отметить, что применение подобного инструментария непосредственно после выделения корпусной детали из тела свободных форм не требует дополнительных промежуточных преобразований.



**Рис. 1.42.** Дальнейшая модификация полученной 3D-модели традиционными методами твердотельного параметрического моделирования: формированием паза (а); создание элементов оформления дисплея (б); формирование массива опор с подкреплением (в); формирование массива элементов оформления кнопок (г)

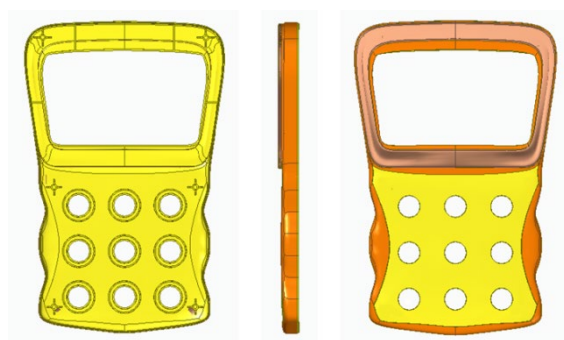
Окончательный результат моделирования представлен на рис. 1.43. Полученную модель возможно:

- доработать с помощью методов обратного инжиниринга / объединенного моделирования;
- параметризовать / образмерить;
- передать в среду создания чертежей;
- передать в модуль проектирования пресс-форм/электродов;



- передать в модуль подготовки аддитивного производства.

Применение обратного инжиниринга оправдано на завершающих этапах проектирования, когда необходимо извлечь из модели аналитические поверхности, продлить / обрезать их до пересечения, сшить образовавшуюся оболочку и получить полноценное твердое (BREP) тело. Тем не менее, следует отметить, что современные возможности объединенного моделирования позволяют достаточно эффективно работать с фасетной геометрией традиционными методами, универсальными как для твердотельной, так и для фасетной геометрии, поэтому использование обратного инжиниринга, возможно, имеет смысл в ряде случаев ограничить исключительно преобразованием сетки в целях обеспечения лучшей пригодности модели к выполнению расчетов в среде инженерного анализа конструкций.



**Рис. 1.43.** Окончательный результат моделирования

Проанализировав предложенный подход, можно выделить следующие его достоинства:

- упрощение и ускорение процесса проектирования;
- независимость относительно целевого назначения модели;
- возможность свободного управления формой;
- возможность внесения незапланированных изменений в конструкторский замысел;
- доступность традиционных методов моделирования;
- возможность организации сквозной цепочки конструкторско-технологического проектирования.

Среди недостатков подхода можно отметить невозможность прямой параметризации клетки, а также получение результата в виде фасетной модели, которой присущ ряд ограничений в рамках выполнения объединенного моделирования.

Предлагаемый подход позволяет ускорить и упростить процесс моделирования сложных корпусных деталей, давая возможность уточнять конструкторский замысел в процессе проектирования. Дальнейшая обработка модели возможна с помощью традиционных методов проектирования. Подход не привя-

зан к конкретной отрасли и может быть распространен на процессы проектирования деталей с наличием сложных, в том числе дизайнерских, поверхностей. Рекомендуется применять данный подход на предварительных этапах проектирования, при отработке и оценке вариантов конструктивных исполнений деталей.

## Тесты к лекции 5

1. В рамках метода моделирования свободных форм конструктор управляет:

- а) поверхностной геометрией модели;
- б) узлами и ребрами клетки, окружающей геометрию модели;
- в) отдельными фасетами в составе геометрии модели.

2. Чтобы эффективно применять метод моделирования свободных форм для проектирования корпусных деталей электронной аппаратуры, необходимо:

а) подготовить дизайнерские эскизы модели, составив из них ортогональные виды;

- б) иметь точные габаритные размеры корпусных деталей с допусками;
- в) никаких специальных приготовлений не требуется.

3. Возможна ли дальнейшая модификация 3D-модели, полученной методом моделирования свободных форм, традиционными методами твердотельного параметрического моделирования?

- а) да, при помощи методов поверхностного моделирования;
- б) да, при помощи сочетания методов поверхностного и твердотельного моделирования;
- в) да, при помощи сочетания методов поверхностного и твердотельного моделирования, в том числе командами проектирования деталей из пластика.

4. Возможно ли изготовить пресс-форму под деталь, смоделированную методом свободных форм?

- а) да, возможно;
- б) нет, невозможно;
- в) да, возможно, но после преобразования в BREP-модель.

5. Окончательный результат моделирования свободных форм возможно (Выберите один или больше правильных ответов.):

- а) передать в среду создания чертежей;
- б) доработать с помощью методов обратного инжиниринга / объединенного моделирования;
- в) параметризовать / образмерить.